

# 第 27 届 CPHOS 物理竞赛联考

## 实验试题

本试题于 2025 年 9 月 5 日 8:00 发布，最后更新于 2025 年 8 月 29 日 17:40。

CPHOS 物理竞赛联考是开放性公益性的考试，有意向参与的教师和学生可以关注“CPHOS”微信公众号进行报名，报名后方可参与联考。请使用“CPHOS 物理竞赛联考”微信小程序完成答题卡上传、阅卷、成绩查询等操作。联系方式见试题末尾。

答题卡上传

2025/9/5 16:00 - 2025/9/9 10:00

阅卷

2025/9/10 12:00 - 2025/9/14 18:00

非正式成绩

2025/9/14 20:00

成绩申诉

2025/9/14 20:00 - 2025/9/15 18:00

正式成绩

2025/9/15 22:00

### 考生须知

1. 实验试题共 7 页，实验答题卡共 3 页，答题时间 60 分钟，试题满分 80 分。
2. 请在答题卡的指定答题区域内答题，试题和草稿纸上的内容将不会作为评分参考，不可申请答题卡加页。
3. 若发现试题存在问题，请向领队（教练）反映，由其转达至相关微信群聊。
4. 试题答案及相关分析均会在官方网站 [www.cphos.cn](http://www.cphos.cn) 上发布。

### A. 直流电桥综合（35 分）

本题将研究几个直流电桥的经典问题，测量结果均不用计算不确定度。

#### 1. 平衡电桥的研究（9 分）

电路图如图 1 所示， $R_1, R_2$  为定值电阻， $E$  为电源电动势（阻值，电动势值均可理解为准确值，以下各问同）， $R_0$  为电阻箱，待测电阻为  $R_x$ 。

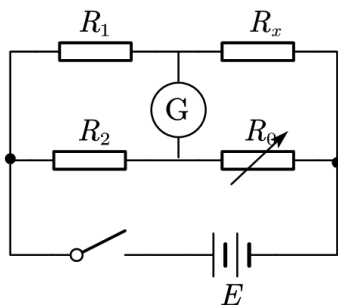


图 1 平衡电桥电路图

A.1.1 以下为一次实验的数据： $R_1, R_2$  的值分别为  $100\Omega, 1k\Omega$ ，在  $R_0 = 336.3\Omega$  时检流计指示 0，给出待测电阻测量值。

A.1.2 如果由于检流计精度太高，导致  $R_0$  无论如何调整，检流计均无法严格指示 0，在不改

换仪器的情况下，请从数据处理的角度给出一种解决方案。

A.1.3 实验过程中，为了减小误差，还会进行交换 $R_1, R_2$ 重新调节 $R_0$ 为 $R_0'$ 使之重新平衡，推导利用 $R_0$ 与 $R_0'$ 给出的待测电阻表达式，并回答这么做是为了消除由什么引入的误差。

A.1.4  $R_1/R_2$ 的值应该\_\_\_\_\_1, (选填“接近”“远离”), 为什么?

## 2. 利用非平衡电桥测量铂电阻温度系数 (17 分)

电路图如图 2 所示,  $R_T$ 为铂电阻, 其余电阻含义与 1 问中相同, 已知在本次实验测温范围内, 铂电阻随温度变化关系近似为:

$$R_T = R_{T0}(1 + AT)$$

式中  $A$  为温度系数,  $T$  的单位为摄氏度。

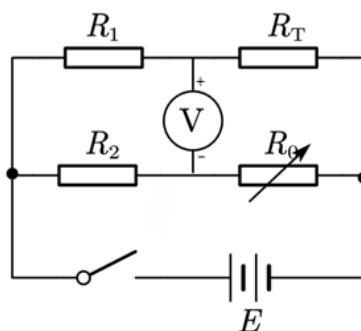


图 2 非平衡电桥电路图

也许你已经熟知了《新编》上的测量方法, 但是很抱歉, 由于实验中采用恒压源而非恒流源,  $R_1$  和  $R_2$  的值无法严格相等,  $R_1 \gg R_T, R_2 \gg R_0$  的近似也无法很好满足等因素, 直接采用书上的方法会导致较大的误差, 所以需要重新推导公式。

A.2.1 已知电源内阻为  $r \ll R_1, R_2, R_0, R_T$ , 电压表内阻  $R_V$  可视为无穷大, 试推导电压表示数  $\Delta U$  与  $R_T$  的关系。

A.2.2 一般会选取初始温度下电桥是平衡的, 在本实验中即  $T = 0^\circ\text{C}$  时, 调整  $R_0$  使电桥平衡。为什么要这么做?

A.2.3 假设由温度引起的铂电阻变化  $\Delta R_T \ll R_{T0}$ , 则电压表示数对温度的响应近似线性。推导这个比例系数, 用  $R_1, R_2, R_0, E, A$  表示。

A.2.4 在一次实验中,  $R_1 = R_2 = 1\text{k}\Omega$ ,  $R_0 = 101.1\Omega$ ,  $E = 1.9\text{V}$ , 实验数据如下表, 作图并用拟合法计算温度系数。

表 1  $\Delta U - T$  关系测量数据表

$T/^\circ\text{C}$	$\Delta U/\text{mV}$	$T/^\circ\text{C}$	$\Delta U/\text{mV}$
10.12	4.79	60.04	33.55
20.01	10.62	69.92	38.98
29.91	16.44	80.19	45.03

40.07	22.23	90.33	50.51
50.08	28.05	100.00	56.29

3. 基于非平衡电桥搭建质量称（9 分）

本部分将基于 2 问中的非平衡电桥搭建质量称。将 2 问电路中铂电阻换成压敏电阻，在其上放置称盘，之后在称盘上放置待测物进行测量。已知压敏电阻在本实验数据范围内阻值随压力线性变化。

A.3.1 在测量开始前应该如何调整 $R_0$ ？此时压敏电阻上是否需要放置称盘？

A.3.2 简述如何仅通过一些砝码实现待测物质量的测量，需不需要测量 $R_1, R_2, E$ 的大小？

在一次测量中，数据如下表：表 2 中 $R_0$ 为 3.1 问中电阻箱调整值，表 3 中 $m$ 和 $U$ 分别为放上砝码的质量与电压表示数。又已知放上待测物时电压表读数为 $U_{\text{测}} = 0.53\text{mV}$ 。

A.3.3 试计算待测物的质量。

表 2 电路参数测量数据表

$R_1/\Omega$	$R_2/\Omega$	$E/V$	$R_0/\Omega$
100.69	99.79	9.964	372.5

表 3  $U - m$ 关系测量数据表

$m/\text{g}$	$U/\text{mV}$	$m/\text{g}$	$U/\text{mV}$
50	0.12	300	0.62
100	0.23	400	0.81
150	0.32	500	1.00
200	0.43		

## B. 分光计与光栅 (45 分)

分光计作为一种高精度的测角仪器，广泛应用于光波长、折射率、光栅常数等物理量的测量。本题将探究涉及分光计与光栅的一系列物理实验。

### 1. 分光计实验综合 (19 分)

**B.1.1** 根据分光计调节的基础知识，完成下列填空。

A. \_\_\_\_\_

B. 细调：

a. 采用 \_\_\_\_\_ 法调节望远镜聚焦无穷远

b. 采用 \_\_\_\_\_ 法调节 \_\_\_\_\_ 垂直于仪器转轴

c. 调节平行光管产生平行光

d. 调节平行光管光轴与仪器转轴垂直

C. 出现问题！

a. 无论怎么旋转载物台，视野中都无法出现绿十字像，如果不是仪器或平面镜本身的问题，则说明 \_\_\_\_\_ (选填 “A” “a” “b” “c” “d”) 步骤出现了问题，需要重新进行。

b. 随着调节的进行，目镜中绿十字像运动轨迹与望远镜目镜横轴不平行，这说明 \_\_\_\_\_ (选填 “A” “a” “b” “c” “d”) 步骤出现了问题。

**B.1.2** 将三棱镜放在载物台上时，观察到绿十字像很淡。关于此现象可能正确的说法和做法有哪些？

A. 棱镜和望远镜筒中心高度偏离过大

B. 三棱镜表面的反射率远小于双面反射镜的反射率

C. 前后移动望远镜目镜，可以将绿色十字反射像看得更清楚

D. 调亮环境光后可以将绿十字反射像看得更清楚

E. 调暗或遮挡环境光后可以将绿十字看得更清楚

**B.1.3** 我们使用自准直法测量三棱镜顶角。若某次实验中，三棱镜的顶角非常小 ( $1^\circ$  量级)，请描述测量过程中会看到的现象，并给出克服这一困难测量顶角的方式。

**B.1.4** 画出掠入射光路并默写掠入射法测量三棱镜折射率的公式，用  $\phi$  表示出射极限角。

已测得三棱镜顶角  $A = 60^\circ 2' \pm 2'$ 。将望远镜对准明暗分界线，记下左、右游标读数  $\theta_1, \theta_2$ ；转动望远镜至对准三棱镜出射面法线位置，记下左、右游标读数  $\theta_1', \theta_2'$ 。

**B.1.5** 用  $\theta_1, \theta_2, \theta_1', \theta_2'$  表示掠入射极限出射角  $\phi$ ，指出用这种方式表示的意义；从下图中读出第一次测量中空白数据，填表并计算  $n$  及其不确定度。(认为分光计允差和估读误差均为  $1'$ )

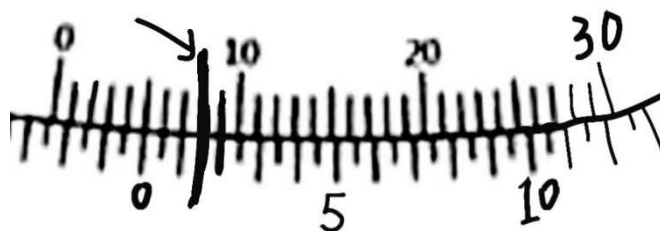


表 1 钠灯光 ( $\lambda = 589.30nm$ ) 入射下使用掠入射法测量三棱镜折射率数据表				
	测量次数 $N$	1	2	3
明暗分界线 方向	$\theta_1$	$177^\circ 40'$	$177^\circ 39'$	$177^\circ 41'$
	$\theta_2$		$357^\circ 38'$	$357^\circ 39'$
出射面法线 方向	$\theta_1'$	$136^\circ 14'$	$136^\circ 12'$	$136^\circ 14'$
	$\theta_2'$	$316^\circ 15'$	$316^\circ 14'$	$316^\circ 14'$

### B.1.6 柯西色散

一般地,透明介质在正常色散区(通常为可见光波段)的色散关系可以表述为柯西经验公式:  $n(\lambda) = a + b/\lambda^2 + c/\lambda^4 + \dots$

**B.1.6.1** 保留到  $n(\lambda) = a + b/\lambda^2 + c/\lambda^4$ , 请指出如何拟合公式中出现的  $a, b, c$  系数。

**B.1.6.2** 保留到  $n(\lambda) = a + b/\lambda^2$ , 我们把式中  $a, b$  分别称为介质第零色散系数和第一色散系数。试作图并用最小二乘法确定三棱镜的第零色散系数和第一色散系数。(提示: 注意作图规范)

表 2 $n - \lambda$ 关系测量数据表	
波长 $\lambda/nm$	折射率 $n$
404.66	1.7102
407.78	1.7085
435.84	1.6992
491.60	1.6858
546.07	1.6770
576.96	1.6732
589.30	

## 2. 光栅实验综合 (14 分)

**B.2.1** 通过“三线合一”可以确定平行光垂直入射到光栅面上, 三线合一指的是\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ 三条线重合, 此外还要求\_\_\_\_\_与\_\_\_\_\_重合。

**B.2.2** 在测量过程中, 发现光栅的各级谱线的绝对高度不一样高, 以下哪些选项是可能的成因?

- A. 光栅的法向正对平行光管, 但光栅的条纹方向非竖直方向
- B. 光栅没有能够正对平行光管, 光栅法向虽然在水平面内, 但与平行光管的方向有一定夹角
- C. 光栅没有能够正对平行光管, 光栅法向与平行光管的方向在同一竖直面内, 但有一定夹角
- D. 狭缝并非竖直方向的, 而是有一定的倾角

E.以上都不是

表 3 利用汞灯绿谱线测量光栅常数数据表				
	测量次数 $N$	1	2	3
+1 级谱线	$\theta_{11}$	252° 0′	252° 0′	251° 56′
	$\theta_{12}$	71° 57′	71° 56′	71° 54′
-1 级谱线	$\theta_{21}$	213° 42′	213° 42′	213° 40′
	$\theta_{22}$	33° 41′	33° 42′	33° 39′

B.2.3 用汞灯绿谱线 (546.07nm) 测光栅常数 $d$ , 写出 $\sigma_d$ 计算公式并依据表 3 计算出 $d \pm \sigma_d$ 。  
已知望远镜正对分光计平行光管时读数 (即入射光方向):  $\theta_{01} = 232^\circ 51'$ ,  $\theta_{02} = 52^\circ 50'$ 。

提示:  $\delta_\theta(+1) = \frac{\theta_{11} + \theta_{12}}{2} - \frac{\theta_{01} + \theta_{02}}{2}$        $\delta_\theta(-1) = \frac{\theta_{01} + \theta_{02}}{2} - \frac{\theta_{21} + \theta_{22}}{2}$

表 4 测量汞灯双黄线波长数据表

		测量次数 $N$	1	2	3
黄线 1	+1级谱线	$\theta_{11}$	253° 2′	253° 2′	253° 0′
		$\theta_{12}$	73° 0′	73° 0′	72° 59′
	-1级谱线	$\theta_{21}$	212° 36′	212° 33′	212° 35′
		$\theta_{22}$	32° 34′	32° 30′	32° 32′
黄线 2	+1级谱线	$\theta_{31}$	253° 9′	253° 8′	253° 7′
		$\theta_{32}$	73° 6′	73° 5′	73° 5′
	-1级谱线	$\theta_{41}$	212° 30′	212° 30′	212° 30′
		$\theta_{42}$	32° 27′	32° 26′	32° 28′

B.2.4 利用表 4 数据计算汞灯双黄线波长, 并计算测得值与公认值( $\lambda_{10} = 576.96 \text{ nm}$ ,  $\lambda_{20} = 579.07 \text{ nm}$ )的相对误差, 保留两位有效数字。(无需计算不确定度)

已知望远镜正对平行光管时读数 (即入射光方向):  $\theta_{01} = 232^\circ 45'$ ,  $\theta_{02} = 52^\circ 45'$ 。

B.2.5 计算该光栅对汞灯双黄线的弧度角色散率。

3. 光栅莫尔条纹 (12 分)

两块光栅相向叠合时, 在相干或非相干光的照明下, 在叠合面上将出现明暗相间的条纹, 称为光栅莫尔条纹。莫尔光栅分粗光栅和细光栅。栅距远大于波长的光栅叫粗光栅, 栅距接近波长的光栅叫细光栅, 本问中所涉及莫尔光栅皆为粗光栅。粗光栅因栅间距远远大于光波波长, 所以对照射光的衍射不明显, 其莫尔条纹形成机理只需要用遮光阴影原理来阐释。

线性光栅由一族排列紧密、均匀、等宽等间距的平行直线所组成, 如图所示, 两块栅距常数相同的线性光栅, 其栅面相向叠合并且使两者栅线有很小的交角 $\theta$ , 则由于遮光效应, 在光栅线交叉点近旁的小区域内由于不透光的暗纹重叠, 因而遮光面积最小, 挡光效应最弱,

光的累积作用使得这个区域出现亮条纹。相反，距光栅交叉点较远的区域，因两光栅不透光的栅线的重叠部分变得越来越少，不透明区域面积逐渐变大，即遮光面积逐渐变大，使得挡光效应变强，只有较少的光线能通过这个区域透过光栅，使这个区域出现暗条纹。

同心圆环光栅如图 2 所示，其产生莫尔条纹的原理也跟线性光栅相仿。

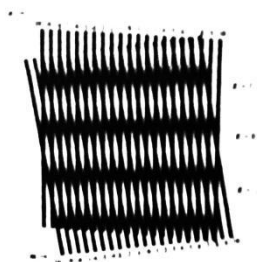


图 1 线性光栅莫尔条纹

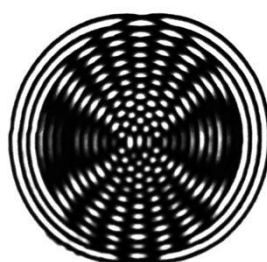


图 2 同心圆环光栅莫尔条纹

**B.3.1** 请推导两列波长为 $\lambda$ 、传播方向夹角为 $\theta$ 的平面简谐波的干涉增强条件、明纹间距（建立坐标系时请以其中一个波的传播方向为 $x$ 轴）。

**B.3.2** 请推导两列波长为 $\lambda$ 、波源间距为 $2c$ 的球面波的干涉增强条件、明纹形状（建立坐标系时请以波源中点为坐标原点）。

**B.3.3** 考虑线性和环形莫尔条纹，推导莫尔条纹出现“亮纹”的位置，以及相应的“干涉增强条件”。通过类比，简要说明莫尔条纹对光的干涉过程良好的模拟性。

在物理学实验中，莫尔条纹不仅可以模拟波的干涉过程，还可以用来测量微小位移。我们来考虑这一应用。

**B.3.4** 请根据以上分析，给出用两个刻线夹角为 $\theta$  ( $\theta \ll 1$ )，光栅常数均为 $d$ 的线性光栅测量微小位移的方法，并推导相应的公式。

CPHOS  
版权信息

命题人

俞天麒 祝语

审题人

周冠宇

联系方式



微信公众号  
CPHOS



官方网站  
[www.cphos.cn](http://www.cphos.cn)



CPHOS 论坛

邮箱

[service@cphos.cn](mailto:service@cphos.cn)

微信小程序

CPHOS 物理竞赛联考